УДК 519.642:624.044:624.131:624.15

А. С. Моргун, д. т. н., проф.;
І. В. Маєвська, к. т. н., доц.;
А. В. Ніцевич, асп.**;**
Н. В. Блащук, асп**.**

МОДЕЛЮВАННЯ ЗА МЕТОДОМ ГРАНИЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПРОЦЕССУ ПІДСИЛЕННЯ СТРІЧКОВОГО ФУНДАМЕНТУ ПАЛЯМИ

Викладено матеріали експериментальних модельних досліджень підсилення стрічкового фундаменту палями різної довжини і з різним кроком та оброблено результати досліджень числовим методом граничних елементів.

Вступ

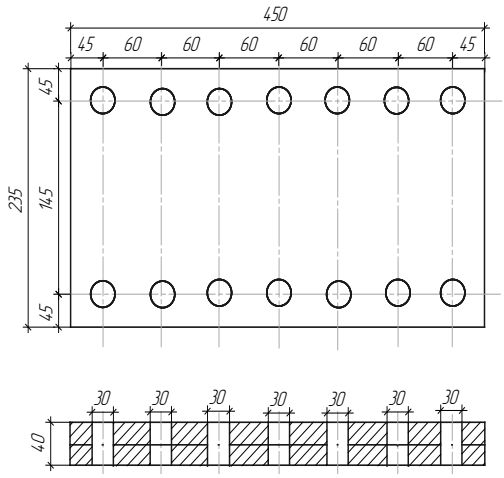

Рис. 1. Модель ростверку

Питання реконструкції та підсилення наявних будівель в умовах щільної міської забудови на сьогоднішній день є актуальним. Опір стрічкового пальового фундаменту (СПФ) вертикальним навантаженням викликає найбільше дискусій. В роботі розглянуто можливість підсилення наявного стрічкового фундаменту палями з різним ком між палями та різній довжині паль.

Проведені модельні дослідження [1, 2] в лотку з рами 1,8×1,2×1,5 м в піску середньої крупності з такими фізико-механічними характеристиками $E = 32$ МПа; $\upsilon = 0{,}3$; $\rho = 1{,}73$ г/см^3; $\rho^{min} = 1{,}632$ г/см^3; $\rho^{max} = 2{,}66$ г/см^3; $W = 0{,}06$; $e = 0{,}63$; $c = 1{,}2$ кПа; $\varphi = 36°$. Масштаб фізичного моделювання експерименту 1:15. Палі було виготовлено з деревини, квадратного перерізу 20×20 мм, довжиною 20, 30 і 40 см, розміри ростверку показані на рис. 1.

Постановка задачі, визначальні співвідношення

В процесі фізичного моделювання процесу підсилення стрічкового фундаменту проведено 6 серій дослідів [1, 2], які в залежності від кроку паль ділились на 2 групи: 1 — з кроком 3*d* і 2 — з кроком 6*d*. Процес навантаження конструкції складався з двох етапів. Перший етап завантаження моделював роботу стрічкового фундаменту з розмірами, показаними на рис. 1. У разі виникнення навколо фундаменту радіальних тріщин (що було прийнято за критерій втрати несучої здатності ґрунту) фундамент підсилювався палями. Кожна серія дослідів відрізнялась кроком чи довжиною паль. Другий етап навантаження відображав роботу фундаменту під час і після його підсилення палями. Заглиблення паль починалось у разі значного розкриття тріщин після першого етапу, але без розвантаження фундаменту. Таким чином було змодельований процес підсилення. Дослідні графіки залежності осідання фундаменту для різних довжин паль на першому і другому етапах навантаження показані на рис. 2.

За результатами фізичного моделювання [1, 2] можна зробити висновок, що залежність між осіданням і навантаженням має очікуваний характер. Так несуча здатність фундаменту до підсилення складала 15 кН. Дані фізичного моделювання показують збільшення несучої спроможності наявного фундаменту ще до об'єднання в одну конструкцію з палями. Це свідчить про необхід-

© А. С. Моргун, І. В. Маєвська, А. В. Ніцевич, Н. В. Блащук, 2008

ність розробок теоретичного плану з метою прогнозування дійсної несучої спроможності стрічкового фундаменту, підсиленого палями.

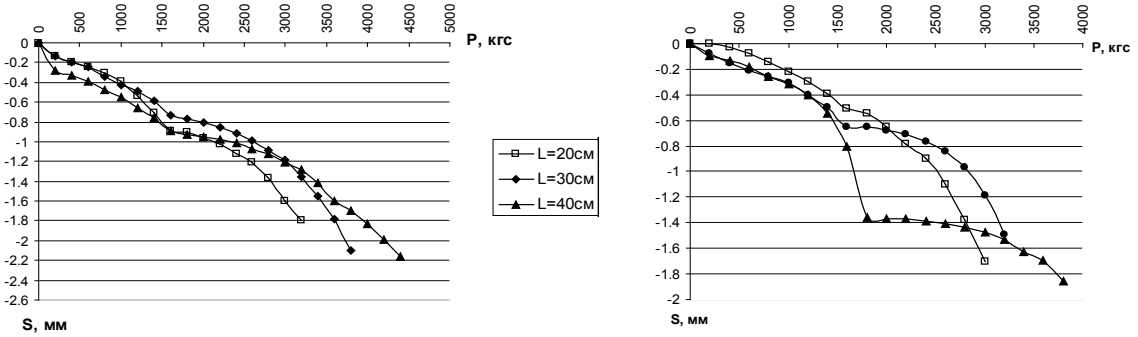

Рис. 2. Графік залежності осідання навантаження при кроці паль 3*d* (зліва) і 6*d* (справа)

В статті взаємодію підсиленого палями фундаменту змодельовано за допомогою числового методу граничних елементів (МГЕ) за методикою, описаною в [3, 4]. Розв'язок основного інтегрального співвідношення прямого методу граничних елементів отримано з використанням дискретизації лише бічної поверхні досліджуваної фундаментної конструкції.

$$c(\xi)u(\xi) + \int_{\Gamma} u(x)q^{*}(\xi;x)d\Gamma(x) = \int_{\Gamma} q(x)u^{*}(\xi;x)d\Gamma(x), \qquad (1)$$

де ξ — точка прикладання навантаження, x — точка спостереження; u, q — шукані переміщення та напруження на бічній поверхні досліджуваного об'єкту; u^*, q^* — ядра інтегрального рівняння є фундаментальними рішеннями рівняння Лапласа; $c(\xi)$ — матриця для гладких поверхонь дорівнює $1/2$.

В матричній формі рівняння (1)

$$F = A \cdot Y, \qquad (2)$$

де F — вектор заданих переміщень на границі палі чи фундаменту; A — матриця впливу МГЕ, формується на основі фундаментальних рішень Р. Міндліна для півпростору (класична матриця піддатливості механіки деформованого тіла); Y — вектор шуканих напружень фундаментної конструкції, складається із дотичних напружень по бічній поверхні та нормальних напружень на вістрі палі чи по підошві фундаменту. Інтегрування вектора напружень по боковій поверхні дає несучу здатність фундаментної конструкції [3].

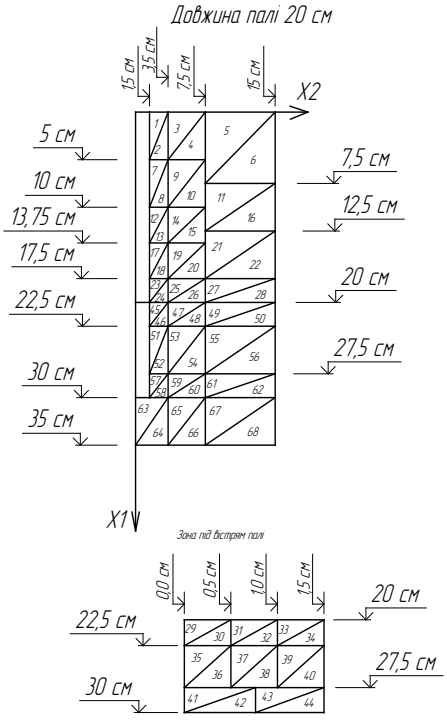

Рис. 3. Дискретизація бокової поверхні

Етапи числового розв'язання (2):

1 — дискретизації бічної поверхні ростверку та паль (рис. 3) прямолінійними граничними елементами. Активна зона складових фундаменту (ростверку та паль) дискретизується трикутними осередками;

2 — запис рівняння (2) для кожної вузлової точки ξ границі Γ. Інтеграли по кожному елементу обчислювались за схемами числового інтегрування двовимірних квадратур Гаусса;

3 — в результаті виконання пункту 2 формується система алгебричних рівнянь (СЛАР). Невідомий із (2) вектор зусиль на границі Y визначається із розв'язку отриманої СЛАР;

4 — за зусиллями на границі шляхом інтегрування по бічній поверхні визначається несуча спроможність ростверку і паль.

За наведеним алгоритмом для переміщень, по яких фіксувалась несуча спроможність підсиленого стрічкового фундаменту в фізичному експерименті, були проведені числові дослідження за МГЕ поведінки ростверку та паль, що окремо працюють, L = 20, 30, 40 см (рис. 4, 5).

Спільна робота групи паль після підсилення стрічкового фундаменту має свої особливості че-

рез взаємовплив активних зон сусідніх паль. Ефект взаємовпливу змодельовано за МГЕ за запропонованою в [2] методикою.

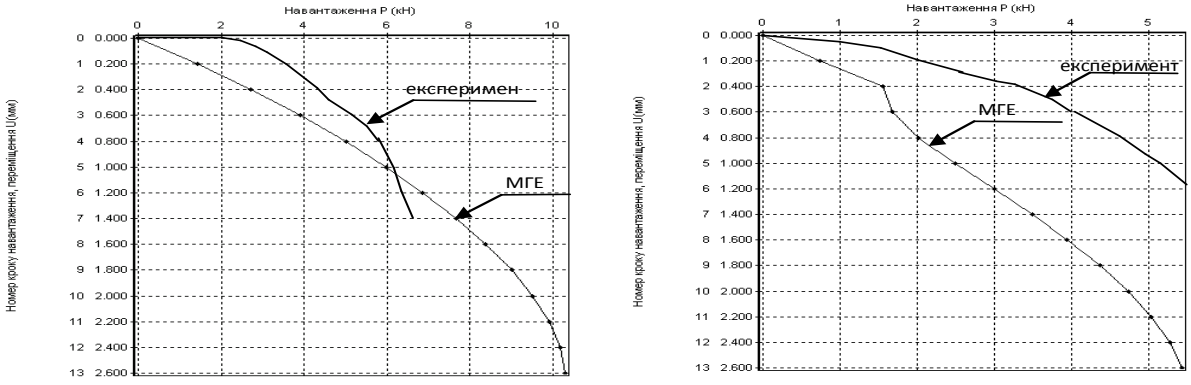

Рис. 4. Графіки осідання—навантаження для ростверку (зліва) та палі L = 20 см (справа) за МГЕ та за результатами фізичного моделювання

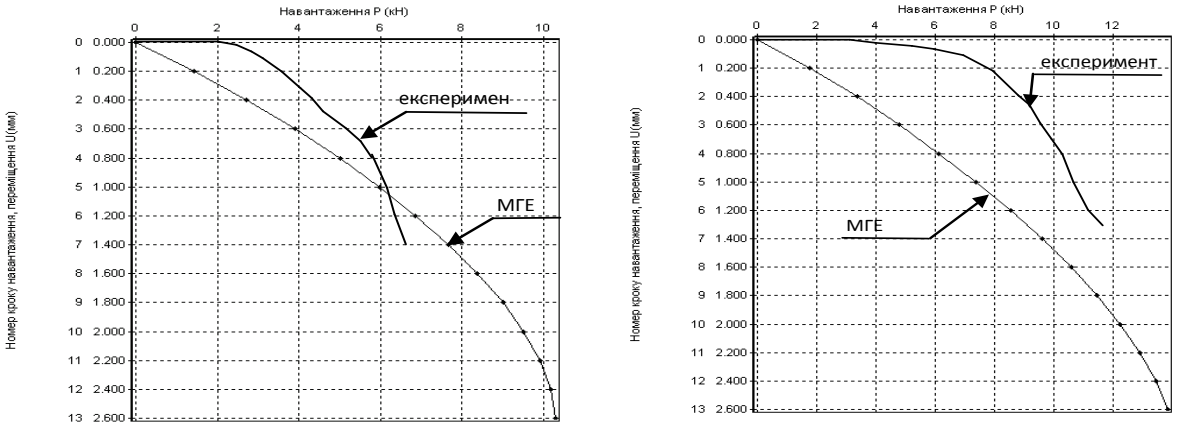

Рис. 5. Графіки осідання—навантаження для палі L = 30 см (зліва) та палі L = 40 см (справа) за МГЕ та за результатами фізичного моделювання

Сумарна несуча спроможність модельних паль після підсилення фундаменту з урахуванням перерозподілу зусиль між палями з відстанню між ними 3d склала відповідно для S = 0,1 мм:

1) L = 20 см — $\sum P = 0,7505$ кН;
2) L = 30 см — $\sum P = 1,0554$ кН;
3) L = 40 см — $\sum P = 1,1336$ кН.

Прогнозування сумарної несучої здатності паль після підсилення фундаменту з урахуванням перерозподілу при S = 0,1 мм та відстані 6d між палями для 4, 5, 6 серії дослідів:

1) L = 20 см — $\sum P = 1,1955$ кН;
2) L = 30 см — $\sum P = 1,4982$ кН;
3) L = 40 см — $\sum P = 1,7782$ кН.

Найбільший ефект підсилення за даними як фізичного так і числового моделювання дають палі L = 40 см з відстанню між ними 6d.

Прогноз за МГЕ несучої спроможності підсиленого ростверку для останньої експериментальної точки шести серій дослідів (рис. 2) складався із суми несучої спроможності паль і ростверку на момент найбільшого прикладеного навантаження після підсилення паль на кожні 0,1 мм осідання:

I серія S = 1,8 мм, L = 20 см, відстань між палями — 3d.

24 + 9,2 · 0,7505 = 30,91 кН ($\approx$ 31,7 кН), кореляційний коефіцієнт — 1,025.

II серія S = 2,1 мм, L = 30 см, відстань між палями — 3d.

25 + 1,0554 · 13 = 38,72 кН ($\approx$ 38 кН), кореляційний коефіцієнт — 0,981.

III серія S = 2,2 мм, L = 40 см, відстань між палями — 3d.

$26 + 13 \cdot 1{,}1336 = 40{,}74$ кН ($\approx$ 44 кН), кореляційний коефіцієнт — 1,08.

IV серія $S = 1{,}7$ см, $L = 20$ см, відстань між палями — 6*d*.

$22{,}5 + 11{,}8 \cdot 1{,}1955 = 36{,}6$ кН ($\approx$ 30 кН), кореляційний коефіцієнт — 0,81.

V серія $S = 1{,}5$ мм, $L = 30$ см, відстань між палями — 6*d*.

$22 + 8 \cdot 1{,}4982 = 33{,}98$ кН ($\approx$ 32 кН), кореляційний коефіцієнт — 0,94.

VI серія $S = 1{,}9$ мм, $L = 40$ см, відстань між палями — 6*d*.

$24{,}7 + 1{,}7782 \cdot 5{,}5 = 34{,}5$ кН ($\approx$ 37,3кН), кореляційний коефіцієнт — 1,08.

Несучу спроможність фундаменту за числовим розрахунком та фізичним моделюванням наведено в таблиці. Різниця між теоретичним і практичним результатами коливається в межах 2—19 %, що достатньо для практичних цілей.

В результаті проведених експериментальних випробувань [1, 2] отримана частка, яку складає несуча здатність ростверку у складі підсиленого фундаменту в залежності від довжини і кроку паль. Залежність частки ростверку у складі підсиленого фундаменту показана у відсотках від загальної несучої здатності фундаменту на рис. 6.

Довжина паль, мм	Несуча спроможність фундаменту, кН			
	крок паль 3*d*		крок паль 6*d*	
	експери-мент	за МГЕ	експери-мент	за МГЕ
20	32	30,91	30	36,6
30	38	38,72	32	33,98
40	44	40,74	38	34,5

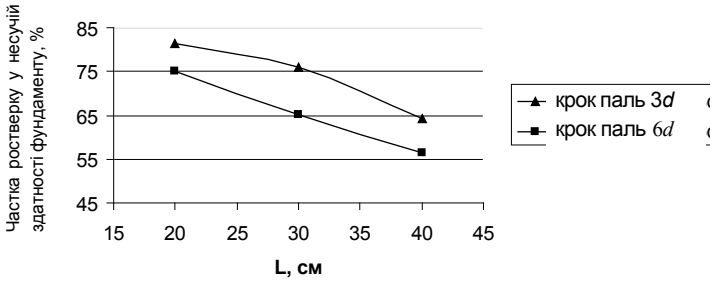

Рис. 6. Залежність частки, яку складає несуча здатність ростверку у складі підсиленого фундаменту, від довжини паль

Висновки

1. Несуча здатність ростверку після підсилення перевищує несучу здатність фундаменту. З кроком паль 3*d* несуча здатність СПФ зросла з 15 кН до 24 — 24,15 кН, з кроком 6*d* — з 15 кН до 24,7 — 24,9 кН, що відповідає даним числового моделювання за МГЕ (рис. 3) та пов'язане зі збільшенням щільності основи і з особливостями перерозподілу навантаження між палями в стрічці.

2. Частка несучої здатності ростверку від загальної несучої здатності підсиленого фундаменту більша у разі меншої довжини паль.

3. Для визначення несучої здатності підсиленого палями фундаменту можна використовувати суму несучої здатності паль і несучої здатності фундаменту мілкого закладання з розмірами ростверку за умови їх однакової осадки.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Маевская И. В. Исследование работы существующего фундамента в составе нового при усилении его сваями за результатами модельного эксперимента / И. В. Маевская, Н. В. Верстяк // Геотехнические проблемы строительства на просадочных грунтах в сейсмических районах / Научно-исследовательский и проектно-изыскательский ин-т «САНИИОСП» Государственного комитета строительства и архитектуры Республики Таджикистан. Душанбе, 2005. — С. 187—190.

2. Блащук Н. В. Оцінка спільної роботи існуючого фундаменту та паль при його підсиленні за результатами модельного випробування / Н. В. Блащук, І. В. Маєвська // Сучасні проблеми проектування, будівництва та експлуатації споруд на шляхах сполучення. — К.: Національний транспортний університет, 2006. Вип. 73.— С. 38—43.

3. Моргун А. С. Проблеми ресурсу фундаментних конструкцій при реконструкції будівель / А. С. Моргун, А. В. Ніцевич , І. М. Меть, І. А. Моргун // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві : зб. наук. пр. ІнБТЕГП, 2006. — № 3

4. Ніцевич А. В. Моделювання ефекту взаємодії паль пальового поля висотних будівель за МГЕ: дис. … магістра / Андрій Віталійович Ніцевич. — Вінниця: ВНТУ, 2007. — 104 с.

Рекомендована кафедрою промислового та цивільного будівництва

Надійшла до редакції 5.02.08
Рекомендована до друку 23.06.08

Моргун Алла Серафимівна — завідувач кафедри, ***Маєвська Ірина Вікторівна*** — доцент, ***Блащук Наталя Вікторівна*** — аспірантка, ***Ніцевич Андрій Віталійович*** — аспірант.